

Vorwort

Jene mutigen Leute, die ein Studium der Physik beginnen, und ein Lehrbuch für Anfangssemester haben etwas gemeinsam. Sie stehen (wenn auch auf verschiedenen Seiten) vor dem gleichen Problem: der noch nicht getroffenen Übereinkunft, wie man sich verständigen könne. Die Umgangssprache ist ungenau. Vorkenntnisse aus der Schule sind sehr verschieden. Und es gibt unglaublich falsche Vorstellungen davon, worauf es bei diesem Studium ankommt. Aber wir sind allesamt Menschen, sind einmal im Wald spazieren gegangen, haben einen Nachthimmel betrachtet, können manche Vorgänge bei geschlossenen Augen „sehen“, haben die Fähigkeit zu staunen und kennen die Frage „Warum?“. Nie aufzuhören mit dieser Frage, das ist Physik.

Das Verstehen der Vorgänge der Natur findet am Schreibtisch statt. Verstehen ist Rückführen auf bereits Bekanntes. Es geschieht mit Gleichungen, Bildern und Rechnungen. Alle jene Zeichen, die auf dem Papier erscheinen, haben Bedeutung. So, wie aus Noten, die Töne bedeuten, Musik werden kann, erwächst aus Formelbuchstaben die Kunst des Verstehens. Kunst ist Handwerk. Ihr Handwerkszeug sind die Kalküle beim „Rechnen mit Bedeutung“. Vielleicht hätte dies auf dem Einband stehen sollen. Diese Kalküle zu erklären und ihren Sinn sichtbar zu machen, das ist jedenfalls das Anliegen dieses Buches. Es kann den Leser nur ein Stück weit begleiten, denn erst dadurch, daß er sie selbst ausprobiert und übt und übt und übt, wird der „Noten“-Leser zum „Pianisten“.

Es werden keine höheren Schulkenntnisse vorausgesetzt. Was zum Beispiel ein Winkel ist oder warum der Pythagoras gilt, wird erklärt. Vielleicht — das wäre schön — entwickeln Teile aus den ersten Kapiteln einen Nutzen für Lehrer und Schüler der höheren Klassen am Gymnasium. Beim Fortgang des Stoffes gewinnen dann mehr und mehr andere Aspekte die Oberhand: Rentabilität (schön ist, was kurz ist; Anschauung spart Zeit), Eleganz (hoffentlich; ggf. besser machen!) und Unterscheidungsfähigkeit in Grundsätzliches, Herleitbares und spezialisiert Angewandtes (nur so läßt sich das inzwischen riesige Gebiet der Physik bewältigen). An den „Leser

ohne Vorkenntnisse“ werden nun hohe Anforderungen gestellt: die Fähigkeit nachzudenken, Vorstellungsvermögen, Ehrlichkeit vor sich selbst und ein unbändiges Bedürfnis, alle der Formelsprache zugänglichen Gedanken *selber* aufzuschreiben, auszuprobieren und zu verbessern — bis sich das Gefühl einstellt, man habe sie selbst erfunden.

Die Vorlesung, die hier aufgezeichnet wurde, wird in Hannover (im ersten Studienjahr und wöchentlich zweistündig) als *Rechenmethoden der Physik* angeboten. Die Bezeichnung greift zu hoch. Früher hieß sie *Mathematische Ergänzungs-Vorlesung*. Nichts stimmte so recht an diesem Titel. Aber man verstand ihn. Beim Titel dieses Buches verhält es sich umgekehrt. Er stimmt. Aber man versteht ihn nicht so recht. Schuld daran ist, daß er ein Fremdwort enthält. Wir wollen versuchen, es zu übersetzen. Das Erstaunliche an der

Physik

ist, daß es sie gibt. Und es gibt sie eigentlich erst seit etwa 300 Jahren. Schon lange, seit die Menschen ihre Beobachtungen aufzeichnen und mitteilen können, wissen wir von Regelmäßigkeiten der Vorgänge in der Natur. Unter gleichen Umständen wiederholt sie das gleiche, und zwar quantitativ präzise. Sie verhält sich mathematisch. Das eigentlich Aufregende war nun die Erkenntnis, daß es *Einheit* gibt in diesen Verhaltens-Mathematiken. Es ist stets nur *eine* Mathematik am Werke. Dies mag unglaublich klingen. Zweifel sind erlaubt (das Studium wird sie ausräumen). Aber falls zutreffend, dann sind an dieser Stelle Gefühle der Ehrfurcht angezeigt. Daß es *die* Natur-Mathematik gibt, ist das Naturwunder Nummer eins. Eine Mathematik beruht auf Axiomen (wenigen Startvorgaben, die alles weitere festlegen). Die Axiome der Natur-Mathematik werden in der Sprache der Physiker — Englisch und weltweit — *First Principles* genannt. Kennen wir diese obersten Prinzipien der Welt, dann können wir — im Prinzip — alle ihre Erscheinungen verstehen. Verstehen heißt nun Rückführen auf diese Axiome. Das erste oberste Prinzip (es war unzureichend und nicht ganz richtig, aber eben das erste) wurde 1687 von Newton formuliert. Wir versuchen nun eine Definition des Wortes *Physik*. Sie steht in keinem Lexikon:

Physik ist die (eine) grundlegende Naturwissenschaft, die einerseits nach den (wenigen, richtigen und ausreichenden) *first principles* der Natur-Mathematik sucht und die andererseits die Naturerscheinungen dadurch verstehen will, daß sie sie als notwendige Konsequenz solcher Prinzipien (sofern bereits bekannt) nachweist.

Die Kehrseite dieses Satzes ist ein wenig boshaft. Genau dann, wenn man den Zusammenhang mit obersten Prinzipien nicht mehr im Sinn hat, hört man auf, Physik zu betreiben. Der Leser möge darüber nachdenken, wie gut unsere Definition die Physik gegenüber anderen Naturwissenschaften

abgrenzt. „Überheblich“ ist sie nicht, wohl aber sehr anspruchsvoll. Biologen und Chemiker dürfen zu Recht erwidern, daß wir noch nicht einmal den Grashalm verstehen oder das Wasser. Das ist zur Zeit noch zu schwer.

So sind denn Physik und Rechnen untrennbar miteinander verbunden. Mathematiker machen Mathematik, Physiker machen Natur-Mathematik. Die erstere kann schlimmstenfalls einen logischen Fehler enthalten. Die letztere hingegen kann auch dadurch falsch sein, daß sie mit dem wirklichen Verhalten der Natur nicht übereinstimmt. Physik hat also zwei oberste Richter, die Logik *und* die Wirklichkeit. Vielleicht darum gilt sie landläufig als „schwer“. Wird man doch so leicht ausgelacht ob der (fast) völlig logischen und dennoch falschen Lösung einer Übungsaufgabe. Wie kann das sein? Das Problem hatte zum Beispiel zwei Lösungen, aber nur eine gab Sinn.

Man *macht* Physik. Ich sitze am Schreibtisch und habe einen bestimmten Naturvorgang vor Augen, den ich begreifen will. Also beginne ich zu *malen*. Das ist gut. Wir haben das Malen nicht unmittelbar per Darwinscher Auslese erworben. Es ist also etwas Anstrengung nötig, das Angemessene auch wirklich zu tun. Skizzen sind hilfreich. Sie sind fast immer verbesserungsbedürftig. Also nehme ich nicht den Füllfederhalter (habe auch gar keinen), sondern mache es

mit Bleistift.

Ich will radieren können. Grautöne sind möglich. Am nächsten Tag verrät die Zartheit der Buchstaben meine Unsicherheit. Die Laune ist mit dokumentiert, und das hilft mir: *ich* habe hier gearbeitet, und zwar kreativ! Der Bleistift kommt der typisch physikalischen Arbeitsweise und Denkweise sehr entgegen: Aufschreiben — Nachdenken — Korrigieren. „Das Resultat dürfte einen Bruchstrich benötigen. In den Zähler dürften die und die Größen gehören. Nun muß aus Dimensionsgründen eine Masse in den Nenner. Vielleicht wird der Bruchstrich kürzer“. Ich muß radieren können! Ich muß mich frei fühlen, wenn ich male und *damit* ich male; — wenn ich rechne und *damit* der nächste Rechenschritt leichter fällt.

Ein Bleistift läßt sich spitzen (man nehme einen Fallstift mit jenen ca. 2 mm dicken Minen Härte F; der zugehörige Minenspitzer leistet das Genannte). Mit einem so behandelten Schreibzeug lassen sich anstandslos vier Größenklassen von Buchstaben unterscheiden (Index an Index an Index an Buchstabe — das kommt vor!). Schließlich reagieren die gängigen Kopier-Geräte auf Bleistift besonders gut (und auf blauen Kugelschreiber besonders schlecht). Wichtige Vorlesungen muß man neu schreiben (eigenes Script). Ihr Kommilitone, der krank war, bedankt sich für den gestochen scharf kopierten Teil Ihrer Ausarbeitung. Das Papier, auf das Sie schreiben, ist *unliniert*. Der Leser kann sich selbst (und seinem alten Schullehrer) leicht klar machen, wie sehr Kästchenpapier unserer Arbeitsweise widerspricht. Die Welt ist nicht kariert, Schablonen aller Art schaden uns.

An einer hochehrwürdigen Universität werden Ratschläge der obigen Art meist unterlassen oder nur mit schamhafter Zurückhaltung gegeben. Jene persönliche Sphäre (in der die Genialität aufwächst) steht unter besonderem Schutz. Der Empfänger eines guten Rates hingegen wird diesen unbedingt ausprobieren, um eine eigene echte Entscheidung treffen zu können. Denk- und Verhaltensweisen variieren zu können, ist beim Physikstudium in besonderem Maße erforderlich. Vieles kann man nicht (noch nicht). Wer aber nicht tut, obwohl er kann, der lege dieses Buch zur Seite (da wächst nichts mehr) und beende das Studium mit Anstand. Der Buchtitel ist nun erklärt.

Alle Kalküle, die in den folgenden 14 Kapiteln behandelt werden, werden im Verlaufe des Studiums tatsächlich (und immerzu) benötigt. Und der Großteil (99 % ?) dessen, was in den Naturwissenschaften gerechnet wird, beruht auf ihnen. Am Ende eines jeden Kapitels ist Gelegenheit für Besinnung und „Weltbild“ (erst die Arbeit, dann das Vergnügen). Der Charakter eines Trainings-Programms (Vorlesung *und* Übungen) wurde nach Möglichkeit aufrechterhalten. So finden sich — scheinbar unmotiviert — mitten im Text Hinweise auf die Haus-Übungen in Teil IV, die nun bewältigt werden können und müssen. Durch diese Unterbrechungen wird ein Wochen-Pensum abgegrenzt. Ist es unverhältnismäßig groß, dann geht das Buch über den Vorlesungsstoff hinaus.

Haus-Übungen sind kleine Forschungsaufträge. Sie sind allein und selbständig zu lösen. Die Stunde der Wahrheit schlägt im Teil IV. Bitte klagen Sie nie über „15 Stunden“, die ein Übungsblatt verschlungen habe. Die Antwort würde ein mildes Lächeln sein: „War das Radio an?“, oder: „Ja, Ja, mein letztes Problem brauchte 157 Stunden und eine schlaflose Nacht“, oder: „Dann hatten Sie eben (zunächst noch) 15 Stunden nötig“. Und ohne Anführungsstriche: bei Übungen ist es um keinen Zeitaufwand zu schade, sie *sind* das Studium.

Viel Glück !

Es ist nicht möglich, all jene aufzuzählen, denen an dieser Stelle Dank zu sagen ist. Zum einen sind sie zu viele an der Zahl, und zum anderen: wer weiß schon noch genau, was er einmal von wem gelernt hat. Aber Anfang und Ende lassen sich benennen. Damals, irgendwo tief in den fünfziger Jahren an der Humboldt-Universität in Ost-Berlin, war es Dr. W. Tausendfreund und Prof. W. Klose gelungen, mir die Physik als etwas Erstaunliches nahezubringen. Und die letzte Etappe ist nicht denkbar ohne den guten Rat und die Ermutigungen seitens Dr. E. F. Hefter oder ohne die gewissenhafte Detailpflege seitens G. Stjepanović und C.-D. Bachem beim Springer-Verlag.

Hannover, im September 1990

Hermann Schulz

Zur zweiten Auflage

Die Resonanz, welche die erste Auflage bei der Leserschaft gefunden hat, war sehr erfreulich und legt wohl auch nahe, bei Änderungen zu zögern. So ist denn die neue „Physik mit Bleistift“ im wesentlichen die gleiche wie die alte. Allerdings wird sie durch den veränderten Einband nun etwas mehr „erwachsen“, nämlich zum Bestandteil der Reihe Springer–Lehrbuch.

Im Kapitel 4 ist ein direkter Weg zur Ermittlung der Drehmatrix aus Achse und Winkel hinzugekommen. In Kapitel 7 wurde der Abschnitt „Variation der Konstanten“ neu geschrieben. Er enthält nun das, was man in praxi tatsächlich benötigt. Am Ende von Teil IV gibt es eine letzte Übungsaufgabe über perspektivische Darstellungen, sowie als Anhang zum Sachwortverzeichnis einen „Hohlspiegel“ für gewisse Leser, welche es sich nicht nehmen lassen, stets vergnüglich mit der letzten Seite zu beginnen.

Besonderen Dank verdient die kritische Aufmerksamkeit der hiesigen Studenten des ersten Studienjahres 1991/92. Sie hatten eine größere Anzahl von Druckfehlern zusammengetragen (darunter auch ein Dutzend schlimmer Fehler, welche den Sinn von Formeln entstellten).

Hannover, im Juni 1993

H. Schulz

Zur dritten Auflage

Die Kunst, ein Problem zu lösen, besteht darin, es so lange einfacher werden zu lassen, bis die Antwort auf dem Papier steht. Auch das eine oder andere Geschick des Landes wartet, so scheint es, weniger auf Rhetorik und Taktik, denn auf den genannten analytischen Verstand. Er wird erworben beim Studium der grundlegenden Naturwissenschaften. Nicht nur sieht das der Verlag Harri Deutsch ebenso, auch die Zusammenarbeit mit ihm entwickelte sich unkompliziert, rentabel und insbesondere mit den Herren K. Horn und B. Müller überaus erfreulich.

Um vielleicht — bei all dem „Bleistift“ — der natürlichen Neugier auf Physik mehr zu entsprechen, ist in der dritten Auflage ein Teil III mit den relativistischen und quantenmechanischen Anfangsgründen hinzu gekommen. Die Übungsaufgaben wurden mit Lösungshilfen versehen. Einen ersten Schritt in die Funktionentheorie gibt es nun im Abschnitt 9.3. Zu allerlei Überarbeitungen hat besonders K. Meerbeck (Aachen) angeregt, und dank N. Poschadel (Uni Jena) hat Theorem 2 im Abschnitt 8.5 endlich einen vernünftigen Beweis.

Hannover, im August 1999

H. Schulz

Zur fünften Auflage

Allerlei Details, etwa 80 an der Zahl, haben sich gegenüber der vierten Auflage verändert. Und ein gutes Dutzend erklärender Passagen kam hinzu. Es ist aber mehr die bessere Lesbarkeit, die ein wenig größere Schrift, auf welcher die höhere Seitenzahl beruht.

Die „PB“ erlebt viel Gutes. Der Freundeskreis wächst. Aber es hat sich auch herausgestellt, daß sie in ihrem Anliegen leicht mißverstanden werden kann.

- Sie ist
- bitter ernst gemeint
 - ein Arbeitsbuch, eine Schule der „Kochkunst“
 - kein Nürnberger Trichter, kein Lesebuch
 - der Freude am Nachdenken gewidmet.

Unter Gleichung (2.6) ist von der Möglichkeit die Rede, einen Violinschlüssel als Raumkurve $\vec{r}(t)$ darzustellen. Sich aber mit einer solchen Nebensache zu befassen, das wäre doch schade um Ihre Zeit:

$$\vec{r} = \left(r \sin(\varphi) + \frac{a}{5} - b \cos(\varphi) \quad , \quad r \cos(\varphi) + a + 2b \sin(\varphi) \right)$$

$$\varphi = -.8 + 2t + \frac{2.4(3.5-t)}{1 + .5(3.5-t)^4}$$

$$r = \frac{1}{5 + 2t^2} + \frac{1.1(4-t)}{.5 + (4-t)^4} \cdot (1-c)$$

$$\text{wobei} \quad c = \frac{e^{-19(4.4-t)}}{1 + e^{-19(4.4-t)}} \quad , \quad a = -.58c \quad \text{und} \quad b = \frac{.04c}{1 + .002t^2} \quad .$$

Auch Ihr Computer ist sich dafür zu schade — er bleibt ohnehin im ersten Jahr besser unter dem Bett. Die obigen Gleichungen eignen sich jedoch gut als Suchbild, als Hineinfinde-Übung. Was passiert hier, wenn die dimensionslose Zeit t von Null an nach ∞ läuft? Solange t noch kleiner als etwa 4.3 bleibt, sind die Funktionen a , b , c fast Null. Erst zuletzt sorgen sie für die abschließende Spirale links unten. Nicht wahr, es mag wohl sein, daß $\vec{r}(t)$ den nebenstehenden Verlauf nimmt.



Hannover, im Januar 2004

H. Schulz